

Dozimetria, sugárvédelem Nukleáris mérés technika



Dr Smeller László Semmelweis Egyetem, Biofizikai és Sugárbiológiai Intézet

Alapfogalmak

Emlékeztetőnek

- Magsugárzás:
 - Az atommag átalakulásakor keletkezik.
 - α (He^{2+}), β (e^- , e^+), γ (em.), n ... sugárzás
- Izotóp (azonos protonszám eltérő neutronszám)
- Radioaktív izotóp (instabil, bomlik, sugároz)
- Aktivitás ($\text{Bq} = \text{bomlás/s}$)
- Exponenciális bomlástörvény

A magsugárzások kölcsönhatása az anyaggal

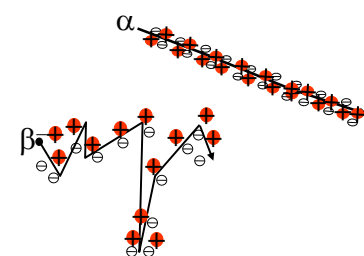
magsugárzások $\begin{cases} \text{elnyelődése} \\ \text{mérése} \end{cases}$

kölcsönhatás \Rightarrow energiaátadás

α	} töltött részecske \rightarrow direkt ionizáció
β	
γ	} töltéssel nem rendelkezik \rightarrow indirekt ionizáció
n	

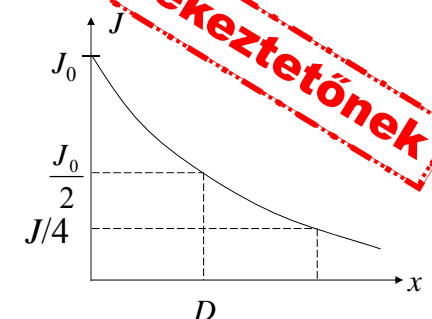
Emlékeztetőnek

Sugárzások gyengülése: töltéssel rendelkező sug. γ -sugárzás



Ionizáció \Rightarrow energiavesztés:
Az energia egy bizonyos úton elfogy.

Hatótávolság



Exponenciális gyengülés
nincs hatótávolság

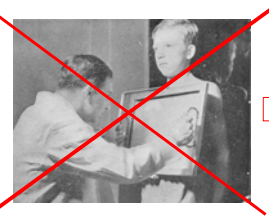
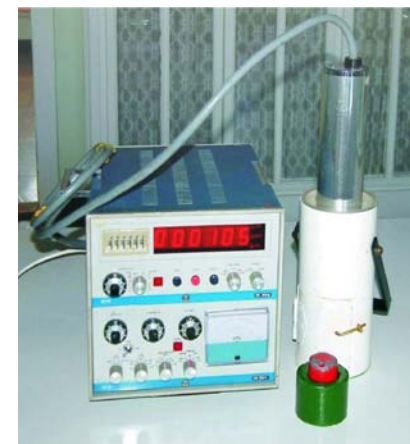
Emlékeztetőnek

A mag sugárzások mérése

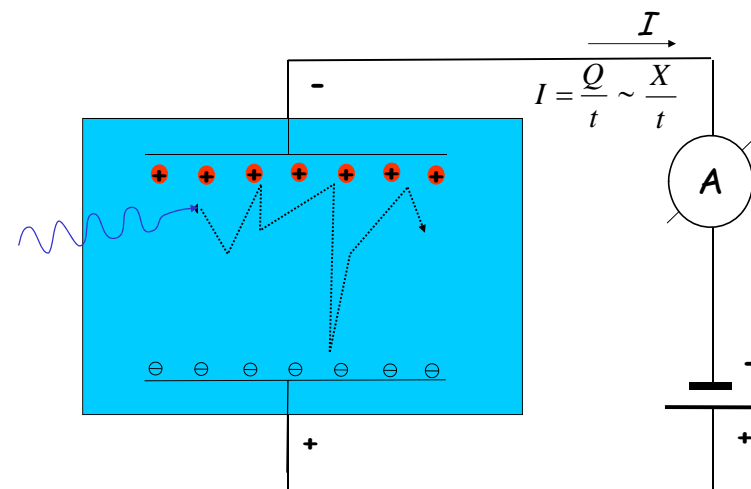
szcintillációs számláló
gázionizáció alapuló detektorok
termolumineszcens doziméter
fotográfiai (film) módszerek
félvezető detektor

Szcintillációs detektor

ld. gyakorlat

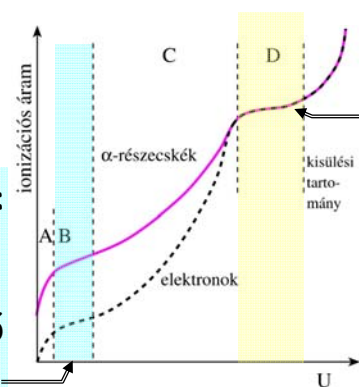


Ionizáció alapuló detektálás



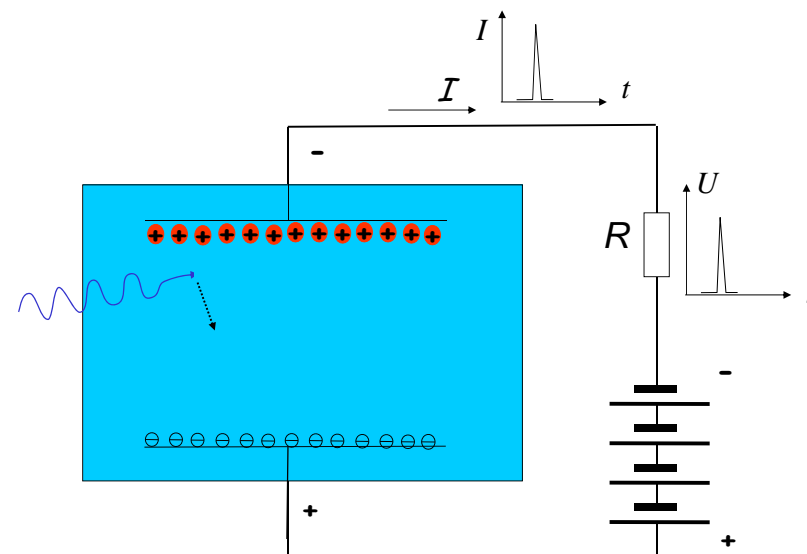
Ionizáción alapuló detektálás

ionizációs kamra:
összegyűjti az
összes iont, a
sugárzás ionizáló
hatását méri
ld. még dozimetria

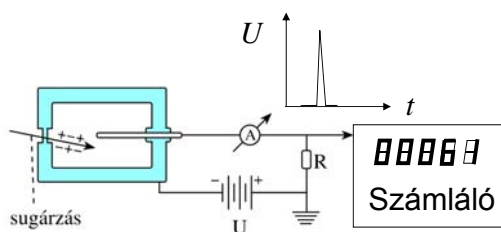


Geiger-Müller
tartomány:
lavina-
effektus,
részecske
↓
feszültség
impulzus

Geiger-Müller cső



G-M cső

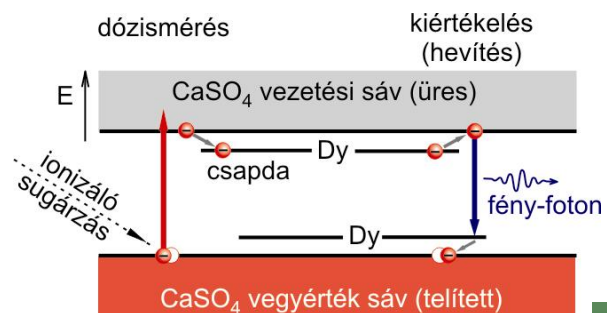


előnye: egyszerű felépítés
hátránya: kis érzékenység γ sugárzásra
energiaszelektivitás hiánya

alkalmazása: főleg dozimetriában



Termolumineszcencia



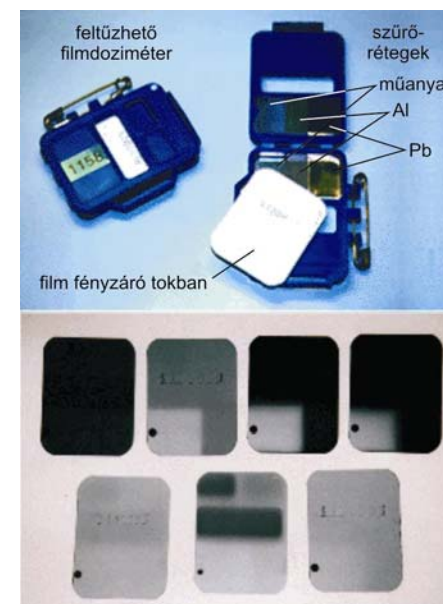
Jim Voss amerikai űrhajós a Pille kiértékelő egységébe helyezi a dózismérőt.
(Fotó: NASA ISS002E7814)

Személyi dozimetria



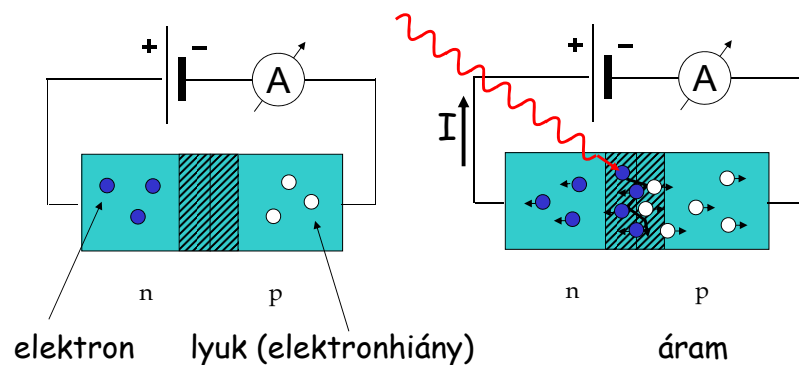
Fotokémiai detektálás

elavult



Félvezető detektor

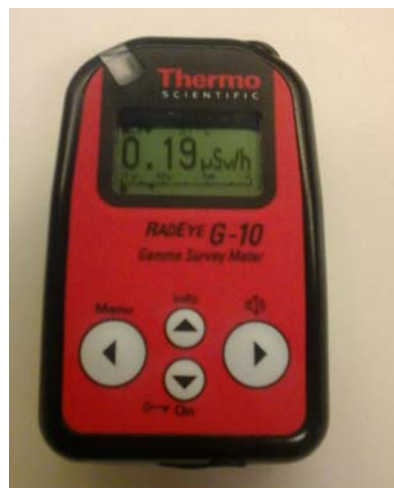
Elv: félvezető dióda záróirányban
a sugárzás szabad töltéshordozókat kelt



Félvezető detektor a diagnosztikában



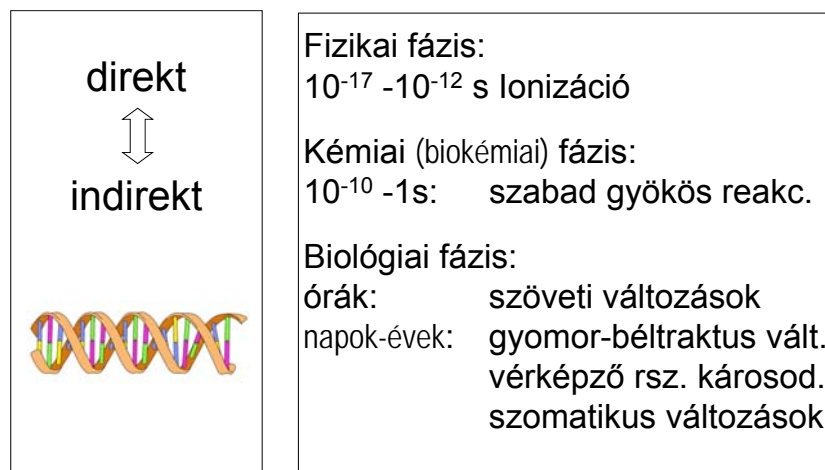
Félvezető detektor a dozimetriában



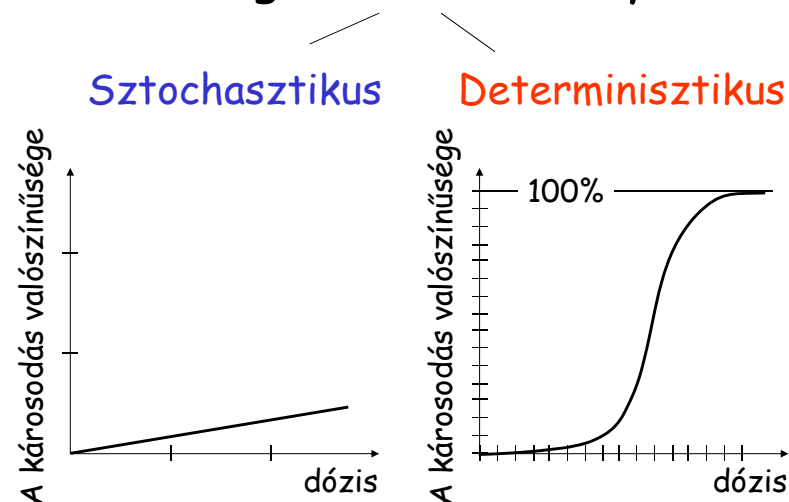
Az ionizáló sugárzások biológiai hatása



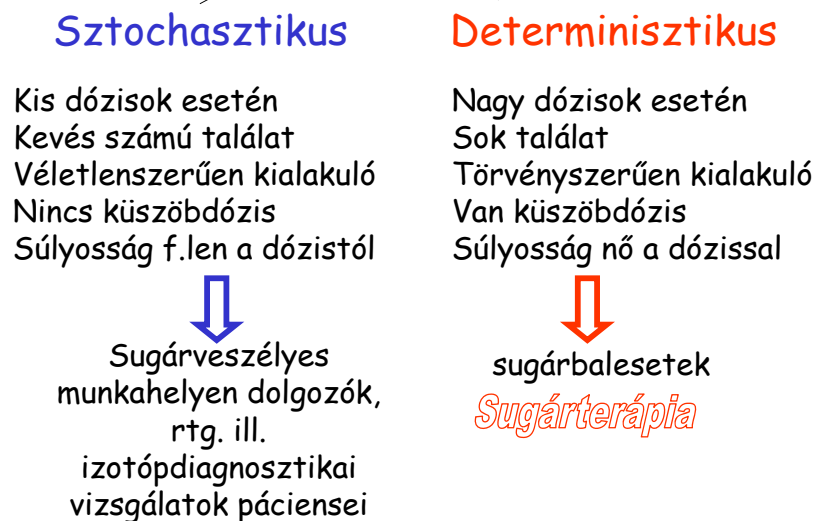
A sugárhatás mechanizmusa



A sugárhatás osztályozása



A sugárhatás osztályozása



Sugárvédelem és dozimetria

A sugárvédelem feladata:
dózisteljesítmény mérés
szennyezettség mérés
személyi dózismérés

Dózisfogalmak

Elnyelt dózis:

$$D = \frac{dE}{dm}$$

A dm tömegű anyaggal a sugárzás által közölt energia

Mértékegysége $J/kg = Gy$

➡ Egységnyi tömegnek átadott energia

Elnyelt dózis: $D = \frac{dE}{dm} \quad [Gy]$

Mérése:

- direkt módon nehéz (minimális hőmérséklet-emelkedés $\Delta T = 0,003 \text{ } ^\circ C / 2 \text{ Gy}$)
- indirekt módon
 - ionizációs kamra
 - félvezető detektor
 - termolumineszcens dózismérő
 - ...

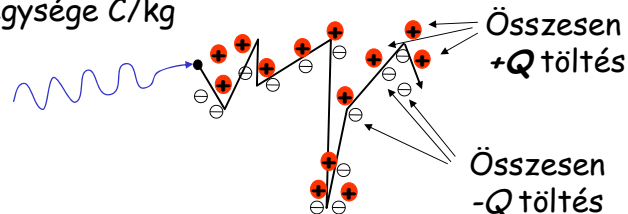
Besugárzási dózis:

$$X = \frac{dQ}{dm}$$

dm tömegben keltett + ill. - töltés

Csak γ és röntgensugárzásra, levegőben!

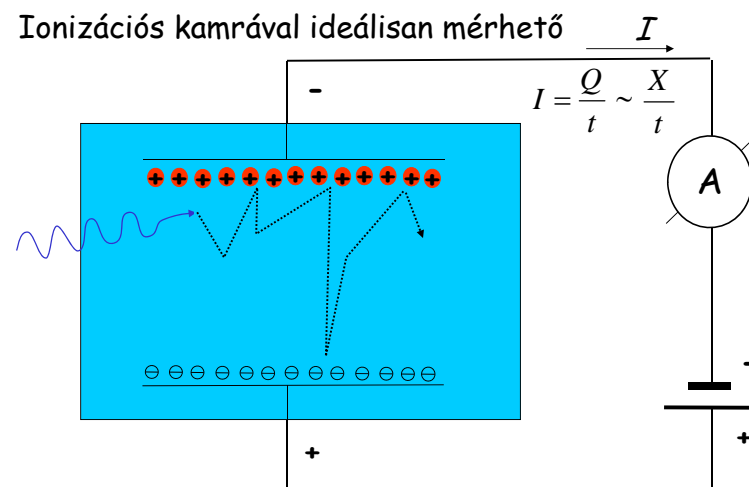
Mértékegysége C/kg



Besugárzási dózis:

$$X = \frac{dQ}{dm}$$

Ionizációs kamrával ideálisan mérhető



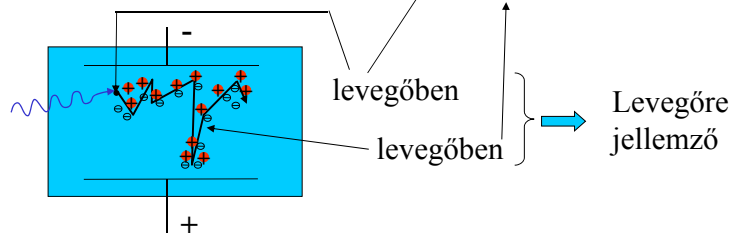
Besugárzási dózis:

$$X = \frac{dQ}{dm}$$

Mire jellemző?

Hogyan számolhatjuk át elnyelt dózissra?

→ Lényeges, hogy hol történt az elnyelés (foton esetén),
hol keletkeznek a töltések



Besugárzási dózis:

$$X = \frac{dQ}{dm}$$

Levegőben mért besugárzási dózis átszámolása:

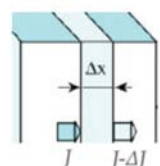
Levegőben 1 ionpár keltéséhez 34 eV energia szükséges*

$$\begin{aligned} 34 \text{ eV} &= 34 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J} && \longrightarrow 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \\ 34 \text{ J} &&& \longrightarrow 1 \text{ C} \end{aligned}$$

$$1 \frac{\text{C}}{\text{kg}} \Rightarrow 34 \frac{\text{J}}{\text{kg}} = 34 \text{ Gy}_{\text{lev}}$$

* Elektronok esetén. Protonok, α részecskék esetén $\approx 35 \text{ eV}$

Levegőben mért dózis átszámolása a
szövetekben elnyelt dózissra



Egy mennyiség (J) és
annak megváltozása (ΔJ)
egymással arányosak:

$$\Delta J = -\mu \Delta x J$$

Exponenciális függvény:

$$J = J_0 e^{-\mu x}$$

$$\Delta J = -\mu \Delta x J$$

$$J = \frac{E}{At}$$

$$\Delta E = |\Delta J| At$$

$$D = \frac{\Delta E}{\Delta m} = \frac{|\Delta J| At}{\rho A \Delta x} =$$

$$= \frac{\mu \Delta x J t}{\rho \Delta x} = \mu_m J t$$

$$D \sim \mu_m$$

Levegőben mért dózis átszámolása a
szövetekben elnyelt dózissra:

$$\frac{D_{\text{szövet}}}{D_{\text{levegő}}} = \frac{\mu_{m,\text{szövet}}}{\mu_{m,\text{levegő}}}$$

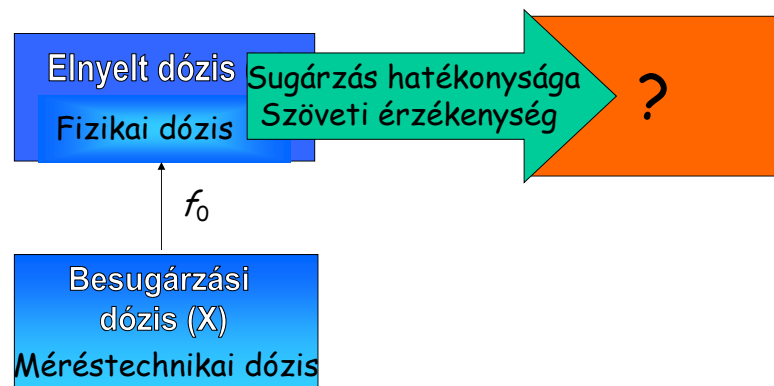
$$D_{\text{szövet}} = \frac{\mu_{m,\text{szövet}}}{\mu_{m,\text{levegő}}} f_0 X \quad f_0 = 34 \frac{\text{J}}{\text{C}}$$

$$E_{\text{foton}} < 0,6 \text{ MeV} \text{ esetén lágyszövetre: } \frac{\mu_{m,\text{szövet}}}{\mu_{m,\text{levegő}}} \approx 1,1$$

Eddigi dózisfogalmak:

A sugárzást jellemző
fizikai mennyiségek

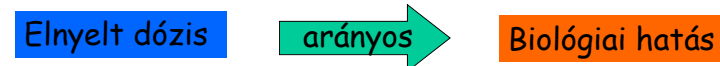
Biológiai hatás



Sugárterápia (Determinisztikus hatás)

Általában

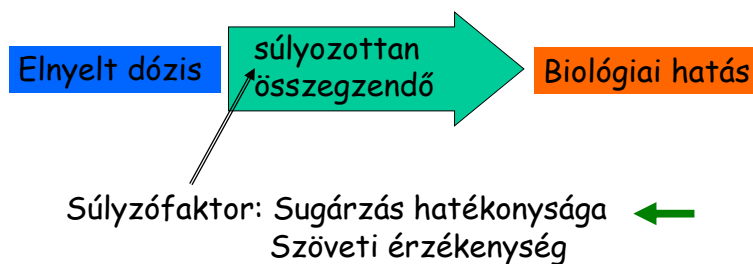
- egyfajta sugárzással
- egyfajta szövetet sugározunk be



Sugárvédelem (Sztochasztikus hatás)

Általában

- többfajta sugárzással
- többfajta szövetet ér sugárzás



Egyenérték dózis: $H_T = \sum_R w_R D_{T,R}$ [Sv]

Súlyozottan összeadja a különböző sugárzásokból (R) az adott szövetben (T) elnyelt dózisokat.

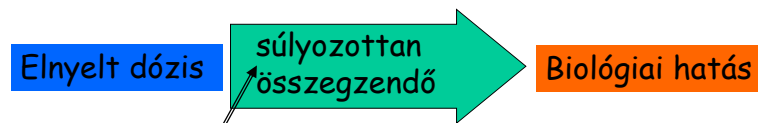
Például:

$$H_{\text{bőr}} = w_{\text{alfa}} D_{\text{bőr,alfa}} + w_{\text{beta}} D_{\text{bőr,beta}} + w_{\text{gamma}} D_{\text{bőr,gamma}}$$

w_R súlytényező

Az adott sugárzás hatékonysága (sztochasztikus hatás kiváltásában) hányszor nagyobb, a röntgen- ill. γ -sugárzáshoz képest.

Részecske	Energia	w_R
Foton		1
Elektron		1
Neutron	<10 keV	5
	10 keV-100 keV	10
	100 keV- 2 MeV	20
	2 MeV - 20 MeV	10
	> 20 MeV	5
Protonok	> 2 MeV	5
Alfa részecskék		20



Súlyzófaktor: Sugárzás hatékonysága
Szöveti érzékenység

Effektív dózis: $E = \sum_T w_T H_T$ [Sv]

Súlyozottan adja össze a különböző szöveteket (T) ért egyenérték dózisokat.

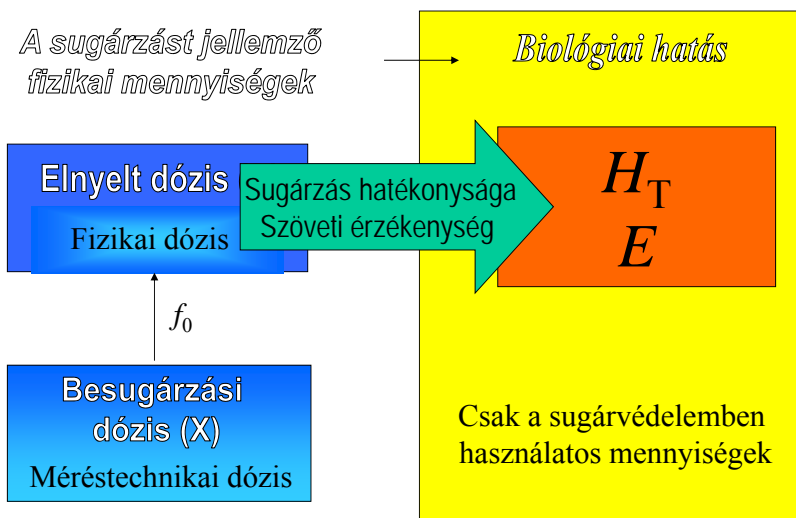
$w_T H_T$ jelenti a H_T dózisonak az egész test sugárkárosodásához való hozzájárulását. $\sum_T w_T = 1$

w_T súlytényező

Megmutatja, hogy az illető szövet-szerv milyen hányadban vesz részt a teljes károsodásban akkor, ha homogén sugárzás érte a az egész testet.

Szövet/szerv	w_T	Szövet/szerv	w_T
gonádok	0,2	máj	0,05
vörös csontvelő	0,12	nyelőcső	0,05
vastagbél	0,12	pajzsmirigy	0,05
tüdő	0,12	bőr	0,01
gyomor	0,12	csontfelszín	0,01
húgyhólyag	0,05	egyéb	0,05

Dózisfogalmak összefoglalása



Sugárvédelem

Sugárforrásokkal dolgozók:

Indokoltság

Determinisztikus hatás kizárása

Sztokasztikus hatás ésszerű redukálása:

ALARA elv

Dóziskorlátok

Páciensek:

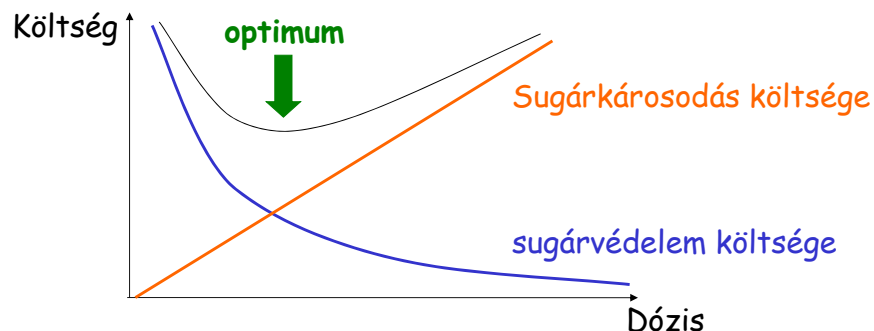
Indokoltság

Cost-benefit elv

Páciensdózisok mérése és dokumentálása

ALARA elv

- As Low As **Reasonably** Achievable
- Olyan kevés, ami **ésszerűen** elérhető



Dóziskorlátok

Foglalkozási dóziskorlát munkavállalókra

- egész testre 100 mSv/5 év
és 50 mSv/év
(kb. 10 μ Sv/munkaóra)*
- szemlencsére 150 mSv/év (csökkenni fog!)
- bőrre 500 mSv/év
- végtagokra 500 mSv/év

*v.ö.: háttérsugárzás dózistelje: $\approx 0,1 \mu\text{Sv/h}$

Determinisztikus sugárzási küszöbdózisok

Csontvelő:	
Vérképzéscsökkenés	0,5 Gy
Herék:	
átmeneti sterilitás	0,15 Gy
végleges sterilitás	3,5-6 Gy
Szemlencse	
Kimutatható homályok	0,5-2 Gy
Cataracta	5 Gy
Bőr:	
Korai átmeneti erythema	2 Gy
Erythema	6 Gy
Időleges epilálás	3 Gy

Egésztest besugárzás esetén: félhalálos dózis: 4 Gy
halálos dózis: 6 Gy

Néhány jellemző dózis

Természetes háttérsugárzás: 2,4 mSv/év
Ennek fele a Rn-ből.

Orvosi vizsgálatok (páciensdózis)
hagyományos felvétel: 0,2-1 mSv
CT felvétel: 2-8 mSv

beavatkozások:

Intervenciós radiológia

orvos: kéz: 100 mSv/2hó
szem: 30 mSv/2hó
térd: 20 mSv/2hó
gonád

(ólomköpeny alatt): 0,5 mSv/2hó
Páciens: akár 1 Gy!!



Sugárterápia: tipikusan 45-60 Gy (2 Gy frakc.)

Dóziskorlátok-veszélyek

Elfogadható kockázattal járó sugárterhelés
Ez alatt sem biztonságos a sugárzással végzett
munka!
(a sztochasztikus károsodás arányos a dózissal!)

Minden veszélyes!



Irodalom

(Az Orvosi Biofizika tankönyv mellett)

Köteles György: Sugáregészségtan (Medicina)

Fehér István, DemeSándor: Sugárvédelem (ELTE Eötvös kiadó)

Turák O., Osvay M.: A személyzet dózisa az intervenciós radiológia területén.

OSSKI www.sugarvedelem.hu/sugarvedelem/docs/kulonsz/.../szemelyzet.pdf

Pellet Sándor, Giczi Ferenc, Gáspárdy Géza, Temesi Alfréda: Az intervenciós radiológia sugár-egészségügyi vonatkozásai. Magyar Radiológia 81 (2007) 32–39.